

# BUMBLEBEEXB3

Diana Beltran Guerrero, Luis Basañez Villaluenga

Universidad Politécnica de Catalunya, Av Diagonal, 647, Planta 11, 08028, Barcelona, España  
Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales

{diana.beltran, luis.basanes}@upc.edu

**Palabras clave:** BumblebeeXB3, visión estéreo, nube de puntos 3D, mapas de disparidad.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MODO DE FUNCIONAMIENTO.....	3
2.1 Software de la BumblebeeXB3 proporcionado por Point Grey.....	4
2.2 Software de código abierto para la BumblebeeXB3.....	5
3. EXPERIMENTOS REALIZADOS.....	5
4. TRABAJOS REALIZADOS CON LA BUMBLEEXB3.....	7
4.1 “A Smart Wheelchair System using a Combination of Stereoscopic and Spherical Vision Cameras”.....	7
4.2 “Looking at the Surprise: Bottom-Up Attentional Control of an Active Camera System”.....	7
4.3 “Stereo Vision-Based Human Tracking for Robotic Follower”.....	8
4.4 “Test Bench for Robotics and Autonomy: Overview and Test Results”.....	8
4.5 “Towards Autonomous Agriculture: Automatic Ground Detection Using Trinocular Stereovision”.....	9
5. CONCLUSIONES.....	10
6. BIBLIOGRAFIA.....	10

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la comunidad científica está desarrollando numerosos métodos y técnicas para la adquisición de información tridimensional de una escena, con características diferentes dependiendo de las aplicaciones para las que se requieran. Algunos estudios realizados sobre las técnicas de adquisición de información tridimensional las han clasificado en dos grandes grupos: uno de ellos está constituido por las técnicas activas que incluyen los sistemas que inyectan algún tipo de energía controlada para formar la imagen. Dentro de este grupo se encuentra por ejemplo, los sensores laser, los sensores que utilizan el tiempo de vuelo o también los que utilizan la luz estructurada, entre otros. Por otro lado está el grupo de las técnicas pasivas que no introducen ningún tipo de energía en la escena. Uno de sus métodos de reconstrucción

se basa en determinar la distancia de un objeto respecto del sistema de visión apoyándose en el tamaño aparente del objeto dentro del campo visual. Este método es muy simple pero presenta inconvenientes. Dentro de las técnicas pasivas se encuentran también los sistemas estéreo que básicamente consisten en emular el funcionamiento de la visión humana. El desarrollo de las técnicas de visión estéreo ha sido objeto de un gran esfuerzo de investigación en los últimos años. Para obtener información tridimensional a partir de un sistema estéreo, se ha de resolver principalmente dos problemas. Uno de ellos es el de encontrar correspondencias entre dos imágenes, esto es, teniendo dos imágenes de la misma escena adquiridas por cámaras desplazadas entre sí una cierta distancia, encontrar para un punto del plano imagen izquierdo, qué punto en el plano imagen derecho corresponde al mismo punto de la escena. El segundo problema consiste en obtener, dados dos puntos correspondientes en ambos planos imagen, las coordenadas 3D del punto en el espacio respecto a un sistema de coordenadas del mundo.



**Fig. 1.** BumblebeeXB3

Los investigadores de PointGrey [1] han introducido una sistema estéreo, que posee tres sensores CCD progresivos, permitiendo trabajar con dos distancias entre cámaras (línea de base) distintas, esto es, utilizando ya sea el sensor izquierdo junto con el central para tener una distancia de línea base de 12 cm o utilizando los sensores derecho e izquierdo obteniendo una distancia de línea base de 24cm. En la figura 1 se puede apreciar la cámara BumblebeeXB3 de PointGrey y en la tabla 1 se resumen sus principales características. Una de las ventajas de poseer dos líneas base es que permite trabajar tanto en entornos exteriores como en interiores, ya que permite controlar el espacio de trabajo a utilizar.

**Table 1.** Características principales de la BumblebeeXB3 [2]

Especificaciones Camera BumblebeeXB3	
Sensor	Tres CCD's ICX445 a/3"
	1280x960 máxima resolución, pixel cuadrado 3.75µm
Línea Base	12cm o 24cm
Distancia Focal	2.5mm con 100° HFVO o 3.8mm con 70° HFVO o 6mm con 50° HFVO
Conversor A/D	Conversor analógico-digital de 12-bits
Salida de Video	8 y 16-bit dato digital
Velocidad de Cuadro	15, 7.5, 3.75, 1.875 FPS

Como se puede apreciar en la tabla, los sensores de este sistema poseen una gran resolución (1280x960 pixeles), diferentes velocidades refresco y unos ángulos de visión razonables, haciendo de la BumblebeeXB3 un sistema con grandes cualidades para una óptima reconstrucción tridimensional. La BumblebeeXB3 posee una conexión FireWire 1394b que le permite alcanzar un ancho de banda de 800Mb/s logrando una transmisión de datos a alta velocidad y en tiempo real. Es necesario instalar la tarjeta PCI, que viene con la BumblebeeB3, en el computador a utilizar. En la figura 2 se muestra un conector Firewire 1394b que utiliza esta cámara.



**Fig. 2.** Conector Firewire 1394b

En este trabajo se explica el funcionamiento de la cámara estereoscópica BumblebeeXB3, sus características principales, su precisión a la hora de obtener información tridimensional, sus ventajas y desventajas y se relacionan algunos trabajos realizados con la misma.

## 2 MODO DE FUNCIONAMIENTO

Como ya se mencionó antes, la cámara BumblebeeXB3 es un sistema estéreo. La visión estéreo se basa en el principio de la visión humana, esto es, obtener dos imágenes captadas por dos ojos separados entre sí, que luego son procesadas en el cerebro donde se obtiene la sensación de tridimensionalidad. Un sistema estéreo, en general debe superar tres etapas para obtener la información tridimensional [3]:

1. Calibración de la cámara: Esta etapa es importante, ya que permite obtener los parámetros que definen la cámara, como son: la distancia focal, la distorsión radial, el punto central, entre otros. Cuanto mejor sea la calibración, mayor calidad tendrá la información tridimensional que se obtenga del sistema estéreo. La BumblebeeXB ha sido precalibrada por los investigadores de Point Grey para corregir la distorsión de las lentes y el desajuste de las cámaras. Existen diferentes métodos para realizar la calibración de una cámara. Uno de los métodos para calibrar un sistema estéreo es utilizar el toolbox de calibración de cámaras de Matlab, pero otra forma que puede resultar más sencilla, es utilizar el paquete llamado *stereo\_calibration* proporcionado por ROS (Robot Operating system).
2. Cálculo de Correspondencia: Esta etapa es una de las más difíciles y la que más costo computacional supone. El proceso consiste en, dadas dos imágenes de la misma escena obtenidas por cámaras separadas cierta distancia entre ellas, obtener

los puntos de la imagen derecha  $(x,y)$  y de la imagen izquierda  $(x',y')$  que corresponden al mismo punto de la escena  $(X,Y)$ . En la figura 3 se puede apreciar una interpretación gráfica de la correspondencia.

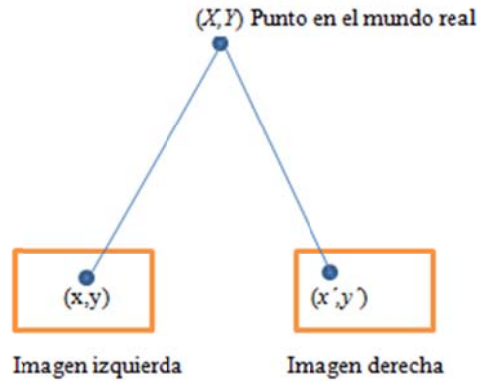


Fig. 3. Interpretación gráfica de puntos correspondientes

3. **Reconstrucción:** En esta etapa, una vez obtenidas las correspondencias necesarias, se procede a calcular la disparidad de los puntos, esto es,  $d = x - x'$ . Con esta disparidad se obtiene la coordenada  $Z$  de cada uno de los puntos, mediante la expresión:  $Z = \frac{fb}{d}$ , donde  $f$  es la distancia focal obtenida en la etapa de calibración,  $b$  es la longitud de la línea base y  $d$  es la disparidad definida anteriormente.

## 2.1 Software de la BumblebeeXB3 proporcionado por Point Grey

El Sistema estéreo BumblebeeXB3 es suministrado por la compañía Point Grey como un paquete completo de hardware y software. Cada uno de estos sistemas estéreo viene acompañado de un kit de desarrollo de software (SDK) llamado *FlyCapture* y otro SDK llamado *Triclops* [1]. El *FlyCapture* se encarga de la adquisición y el control de la cámara, es compatible con Windows e incluye un controlador para la cámara. Contiene librerías con interface de programación, demos y ejemplos con el código fuente en C/C++. Por otra parte el *Triclops* permite el acceso a las imágenes en todas las etapas del procesamiento estéreo, con esto los usuarios pueden realizar un seguimiento de las características en las imágenes con distorsión, rectificar la ubicación de las características y determinar su ubicación en 3D. O también los usuarios pueden rectificar las imágenes e implementar algoritmos estéreo propios, o llevar a cabo la correlación estéreo solo en regiones de interés de las imágenes, para acelerar el procesamiento [2]. El SDK *Triclops* incluye: medidas de distancia para cada pixel (más de un millón de mediciones por segundo), calibración de las lentes y numerosos ejemplos, demos y código fuente.

## 2.2 Software de código abierto para la BumblebeeXB3

A parte del software suministrado con la BumblebeeXB3, existe otra manera de poner en funcionamiento y realizar aplicaciones con esta cámara. El sistema operativo de robótica ROS (Robot Operating System) [4], posee un paquete llamado bumblebee2 [5] que permite el uso de la cámara que lleva su nombre. La Bumblebee2 es la versión anterior de la BumblebeeXb3 que consta solo de dos sensores. Haciendo algunos cambios al paquete Bumblebee2, es posible tener acceso a las imágenes que genera la BumblebeeXb3. Para obtener el mapa de disparidades y la nube de puntos 3D es necesario utilizar el paquete de ROS llamado stereo\_image\_proc [6], el cual procesa las imágenes utilizando el “Block matching algorithm” de Opencv para obtener el mapa de disparidades con lo que posteriormente obtiene la nube de puntos 3D. La figura 4 muestra las imágenes obtenidas desde la BumblebeeXb3 utilizando Ros.



**Fig. 4.** Imagen izquierda y derecha de la BumblebeeXB3 [3].

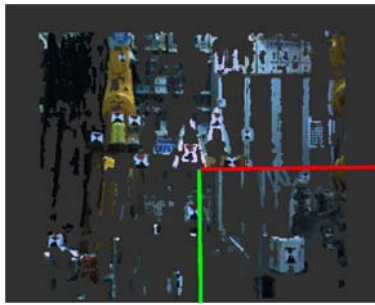
## 3 EXPERIMENTOS REALIZADOS

En [3] se describe un estudio del funcionamiento, precisión y resolución de la cámara BumblebeeXb3 utilizando los distintos paquetes de ROS necesarios para ello. Para evaluar a la BumblebeeXb3 se trabaja con las dos cámaras de los extremos, es decir, con la línea base de 24cm, con el fin de abarcar distancias más lejanas. Luego a lo largo de la escena, se distribuye una cierta cantidad de muestras con el fin de obtener su distancia de profundidad medida desde la cámara y compararla con la suministrada por el medidor de distancia laser profesional Bosch DLE50 que tiene un rango de medición comprendido entre 0.05m y 50m con una precisión de  $\pm 1.5\text{mm}$ . Para obtener las mediciones de profundidad calculadas por la cámara, se utilizó el visualizador de ROS llamado rviz [7]. En la tabla 2 se detalla los datos obtenidos de las mediciones.

**Table 2.** Mediciones de profundidad del mundo real y de la camara BumblebeeXB3

Muestra	Mundo Real (cm)	BumblebeeXB3 (cm)	Error (cm)
1	145,8	Sin Info	
2	164,0	165,9	1,900
3	169,0	171,0	2,000
4	175,0	172,8	2,250
5	184,6	186,7	2,100
6	193,4	195,6	2,200
7	206,9	205,8	1,100
8	207,9	209,2	1,300
9	233,7	231,4	2,300
10	241,4	243,1	1,700
11	247,1	248,4	1,300
12	252,8	Sin Info	
13	260,1	262,6	2,500
14	299,1	295,7	3,400
15	480,8	478,1	2,700
16	490,4	474,9	15,500

En esta tabla se puede apreciar algunos datos interesantes, como por ejemplo que para algunas muestras no hay información (muestras 1 y 12). Como se explica en [3] esto es debido a que la muestra 1 se sale del espacio de trabajo de la BumblebeeXB3 (próxima a la cámara) y la muestra 12 se sale de su ángulo de visión. Por otro lado, los errores de medición que se observan son relativamente pequeños, con excepción del error presentado en la muestra 16, que es algo mayor debido a que está bastante alejado de la cámara (490 cm), saliéndose del espacio óptimo de trabajo de la BumblebeeXB3. En la figura 5 se puede apreciar la nube de puntos 3D obtenida en este experimento.



**Fig. 5.** Nube de puntos 3D obtenida con la BumblebeeXB3 [3].

## 4 TRABAJOS REALIZADOS CON LA BUMBLEEXB3

A continuación se resumen algunos trabajos (tesis, artículos, etc) que utilizan la BumblebeeXb3 como cámara estéreo.

### 4.1 “A Smart Wheelchair System using a Combination of Stereoscopic and Spherical Vision Cameras”[8]

En esta tesis se presenta el diseño y desarrollo de una silla de ruedas inteligente para proporcionar ayuda en la navegación de un sistema de control sin manos, dirigido a personas con tetraplejia. Se presenta un método de generación de mapas en tiempo real y adaptativo utilizando cámaras estereoscópicas (BumblebeeXB3). El proceso utilizado consiste en la adquisición de un mapa de puntos 3D, con el fin de obtener la posición relativa de los objetos del entorno para más adelante tomar decisiones inteligentes sobre la navegación. En la figure 6 se muestra una imagen del sistema propuesto en esta tesis.

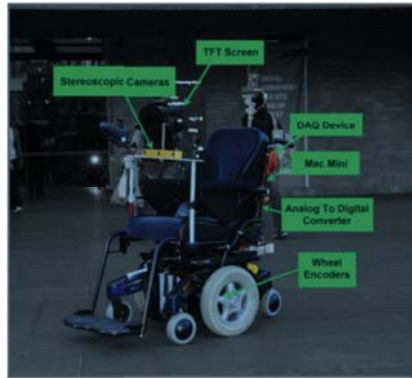


Fig. 6. Prototipo de la silla de ruedas utilizando la BumblebeeXB37[8]

### 4.2 “Looking at the Surprise: Bottom-Up Attentional Control of an Active Camera System”[9]

Este artículo propone un sistema de visión activa (utilizando la BumbleXB3) que es capaz de reconocer los “eventos sorpresa” y seguir su trayectoria en el entorno. Un “evento sorpresa” es definido como la diferencia de la distribución de probabilidad del mapa de prominencia de dos imágenes entrantes consecutivas. Las diferencias pueden ser calculadas usando la divergencia Kullback-Leibler. Estas diferencias miden como cambia la prominencia de un pixel. La estrategia de control, no sólo considera la prominencia espacial del objeto sino que también investiga la novedad temporal en el vecindario. La capacidad de cambio de visión de alta velocidad del sistema propuesto en [10] y el cálculo paralelo con la ayuda de las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU's) permite el seguimiento en tiempo real de los “eventos sorpresa”.

Para ilustrar los cambios de prominencia y describir la novedad temporal de los objetos espacialmente sobresalientes se construye un mapa de “evento sorpresa”.

Las principales contribuciones de este artículo son:

- Modelado de un mapa de “eventos sorpresa” basado en la información del mapa de prominencia.
- Un sistema de cámara activa conducido por “el evento sorpresa” en tiempo real.

#### **4.3 “Stereo Vision-Based Human Tracking for Robotic Follower”[11]**

Este artículo presenta un nuevo enfoque para combinar detección de humanos basada en visión estéreo con seguimiento de humanos usando un filtro de Kalman modificado. La detección basada en visión estéreo combina características extraídas de imágenes estéreo 2D con características 3D de objetos reconstruidos para detectar humanos en el entorno de un robot. La información de la imagen estéreo es usada para ayudar a la definición de regiones de los diferentes objetos incluyendo los humanos. El par imagen adquirido es usado para calcular un mapa de disparidad, utilizando el algoritmo “block matching”, con el que luego se calcula la segmentación. El funcionamiento de este método se probó en una aplicación en la que un robot móvil sigue a un humano, tanto en interiores como en exteriores y utilizando el sistema estéreo BumblebeeXB3.

#### **4.4 “Test Bench for Robotics and Autonomy: Overview and Test Results”[12]**

En este trabajo se presenta un sistema completo, llamado TBRA (Test Bench for Robotics and Autonomy), para la realización de una plataforma robótica dotada con guiado autónomo y un sistema de navegación. Este sistema está basado en una arquitectura de software modular y flexible, en el cual cada módulo implementa una funcionalidad clave del GNC (Guidance Navigation and Control). Los módulos se comunican por medio de interfaces estandarizadas diseñadas para intercambiar la información necesaria entre los módulos que componen el sistema completo. Uno de los módulos que componen el sistema es el de percepción por visión estéreo (Stereo Vision Perception Module), el cual se encarga de la generación de un mapa de elevación digital (DEM) del entorno circundante. En la figura 7 se puede apreciar el sistema implementado.



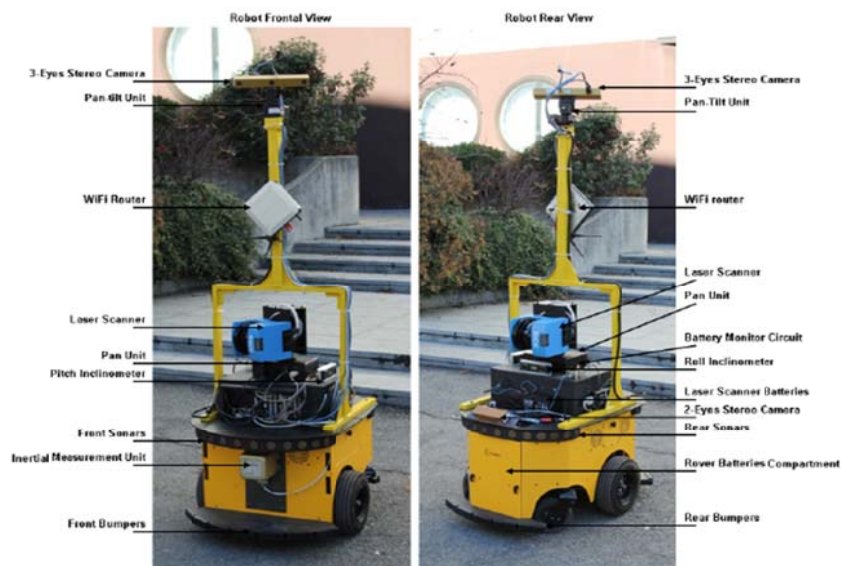


Fig. 7. Imagen del TBRA [12]

#### 4.5 “Towards Autonomous Agriculture: Automatic Ground Detection Using Trinocular Stereovision”[13]

En este artículo se propone un sistema de autoaprendizaje adaptativo usando visión estéreo (BumblebeeXB3). Dados los puntos 3D, el sistema los mapea a celdas y extrae las características geométricas de los puntos en cada celda. Después, esas características son usadas dentro de un clasificador basado en geometría para clasificar las celdas. El clasificador basado en visión estéreo proporciona las siguientes ventajas:

- Auto-entrenamiento del clasificador, en el que la cámara estéreo permite al vehículo adquirir automáticamente un conjunto de muestras del terreno, eliminando el etiquetado manual que consume tiempo.
- Actualización continua del sistema durante la operación del vehículo.
- Extensión de la clasificación estéreo de corto alcance dando lugar a la clasificación de largo alcance a través de la segmentación de la imagen entera.

En la figura 8 se puede ver una imagen del vehículo utilizado para probar el sistema, con la ubicación de los sensores.



**Fig. 8.** Imagen del vehículo de prueba del Sistema [13]

## 5 CONCLUSIONES

Del estudio realizado sobre el sistema de visión estéreo Bumblebee XB3, se destacan varios aspectos. Por un lado, como ventajas se puede decir que es un dispositivo que permite obtener información tridimensional de alta resolución, apto para aplicaciones tanto en interiores como exteriores, permite cambiar su línea base lo cual la hace apta para trabajar en aplicaciones que requieran tanto cortas como largas distancias, por su alta velocidad de transmisión permite aplicaciones en tiempo real y su precisión no es nada despreciable. Por otro lado, sus desventajas son que es un dispositivo relativamente costoso, su funcionalidad se ve afectada en zonas de poca textura, y su coste computacional es elevado. A pesar de esas desventajas, este dispositivo ha sido muy usado en diferentes trabajos de investigación.

## 6 BIBLIOGRAFIA

7. Pointgrey Bumblebee XB3: <http://en.souvr.com/product/201112/8793.html>
8. Catalogo cámaras estéreo: [http://www.ptgrey.com/products/Point\\_Grey\\_stereo\\_catalog.pdf](http://www.ptgrey.com/products/Point_Grey_stereo_catalog.pdf)
9. Beltran, D., Basañez, L. A Comparison between Active and Passive 3D Vision Sensors: BumblebeeXB3 and Microsoft Kinect. *Advances in Robotics Vol 1 y 2*. Springer; Madrid, Spain: 2013. pp. 725-734
10. Página oficial de ROS: [www.ros.org](http://www.ros.org)
11. Paquete Bumblebee2 de ROS: <https://code.google.com/p/cu-ros-pkg/source/browse/#svn%2Ftrunk%2Fbumblebee2>
12. Paquete stereo\_image\_proc de ROS: [http://wiki.ros.org/stereo\\_image\\_proc](http://wiki.ros.org/stereo_image_proc)
13. Paquete rviz de ROS: <http://wiki.ros.org/rviz>
14. Nguyen, S., Jordan. A Smart Wheelchair System using a Combination of Stereoscopic and Spherical Vision Cameras. Tesis doctoral de "University of technology" de Sidney. Noviembre 2012.

15. Xu, T., Muhlbauer, Q., Sosnowski, S., Kuhnlenz, K., Buss, M. Looking at the Surprise: Bottom-Up Attentional Control of an Active Camera System. 10th Conferencia internacional en Control, Automática, Robótica y Vision, 2008. ICARCV 2008
16. K. Kuhnlenz, M. Bachmayer and M. Buss, A Multi-Focal High-Performance Vision System. In the Proceedings of the International Conference of Robotics and Automation (ICRA), pp. 150-155, Orlando, USA, May 2006.
17. Petrović, E., Leu, A., Ristić, D., Nikolić, V. Stereo Vision-Based Human Tracking for Robotic Follower. "International Journal of Advanced Robotic Systems", ISSN 1729-8806
18. Merlo, A., Biggio, A., Casalino, G., Zereik, E. Test Bench for Robotics and Autonomy: Overview and Test Results. "Journal of Mechanics Engineering and Automation" 3 (2013) 378-386
19. Reina, G.; Milella, A. Towards Autonomous Agriculture: Automatic Ground Detection Using Trinocular Stereovision. Sensors 2012, 12, 12405-12423.